



TITLE:

# Deep Convolutional Neural Network's Applicability and Interpretability for Agricultural Machine Vision Systems( Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

Harshana, Habaragamuwa

---

CITATION:

Harshana, Habaragamuwa. Deep Convolutional Neural Network's Applicability and Interpretability for Agricultural Machine Vision Systems. 京都大学, 2018, 博士(農学)

ISSUE DATE:

2018-11-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21429>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により要約は2019-11-25に公開

( 続紙 1 )

京都大学	博士（農学）	氏名	Harshana Habaragamuwa
論文題目	Deep Convolutional Neural Network's Applicability and Interpretability for Agricultural Machine Vision Systems (深層畳み込みニューラルネットワークの農業用マシンビジョンシステムへの適用性と説明力)		
(論文内容の要旨)			
<p>農業人口の減少や高齢化の問題を抱える我が国において、農作業の自動化や機械化は急務となっている。一方、近年の画像計測分野において、Deep Learning（深層学習）と呼ばれる機械学習の技術開発が目覚ましい進歩を遂げている。この技術は複雑で多様な農作業における種々の場面を画像で認識ならびに判断する一つのツールとして大きく貢献するものと期待が寄せられている。例えば、従来作業者が判別する必要のあった状況でもマシンビジョンシステムにより判別させることが可能となり、自動化、ロボット化を促進する起爆剤となるポテンシャルを有する。つまり、様々な条件および環境下における膨大な画像を学習し、対象物を識別する機械学習は、農作業においても柔軟でロバスト性の高い画像認識を実現できるものと期待される。</p> <p>しかし、実際に深層学習を使ってアルゴリズムを作成しても、実際の作業環境では十分に判定精度を得られないことがある。また、深層学習によって生成されるアルゴリズムがブラックボックス化してしまうため、対象物を判定した要因や詳細な理由が不明瞭となる。そのため、高い安全性や信頼性が必要とされる場面では使用するには、その判定結果と因果関係のある特徴や要因がユーザーに対して理解容易な技術であることが望ましい。そこで本研究では、農作業での画像利用を対象とした深層畳み込みニューラルネットワーク（DCNN: Deep Convolutional Neural Network）において、判定結果と特徴との関係性を解釈する方法について提案している。</p> <p>本論文は5章から構成され、第1章で本研究の背景、研究目的、論文の構成を述べた後、第2章でDCNNを用いてグリーンハウスでの自然光条件下におけるイチゴの成熟、未成熟の判別アルゴリズムを開発し、その応用可能性について調べた。実験に用いた画像は、松山市近郊のグリーンハウス内で高設栽培されているイチゴ（紅い雪）で、カメラで撮影した373枚の画像中の551個の成熟果実と923個の未成熟果実を実験に使用した。各種評価指標を用いて本手法を評価した結果、実際の作業環境下においても83%の精度で成熟果実を検出でき、DCNNが示した果実画像の占有領域と実際の果実画像との一致度は72%となり、良好な判別精度を得ることができたと結論づけている。</p> <p>第3章では、DCNNでの解析結果と対象物の特徴との関係を理解容易にすることを目的とし、内部アーキテクチャにアクセスすることなく、DCNNによる決定理由を説明する方法を提案した。通常、画像認識する際には特徴の情報が多くの画素とそうでない画素がある。この画像に摂動を与えると、認識の判定基準となるClass-scoreの値は変化し、その変化が大きいほど判別に重要な画素であることが分かる。そこでEffectという評価指標を提案し、アーキテクチャの異なるGoogLeNetおよびVGG16で評価実験を行った。その結果、Class-scoreとEffectの間に高い相関が確認され、決定係数<math>R^2</math>は0.99となった。</p> <p>第4章では、対象物の形状に着目し、DCNNの判定結果に対する説明能力を向上させる技術を開発した。具体的には、4種類の特徴位置推定方法の性能を比較するとともに、EffectとClass-scoreの相関を利用し、GoogLeNetおよびVGG16で判定能力を評価した。最終的な判定能力は、画像上で特徴箇所を表示する「視覚化」ならびにEffectとClass-scoreとの決定係数および平均平方二乗誤差で評価した。予備検討で決定した最適な特徴位置推定法を用いて判定能力を評価したところ、VGG16とGoogLeNetの両方において、調整されたClass-scoreに対するEffectの決定係数<math>R^2</math>は0.99になった。つま</p>			

り、画像に対して摂動を与えた際のEffectの値を利用することで、Class-scoreを完全に説明できることとなり、従来ブラックボックスとなっていた判定理由の理解に役立つことを示した。特に本手法は、対象物認識に重要な特徴的な形状を視覚的に理解できることから、機械学習の結果に対する解釈を説明する助けとなり、ユーザーの理解をサポートする技術であると結論づけている。

第5章では、各章の総括をすると共に、本研究で開発した手法が農作業機械のマシンビジョンに利用でき、そこで判断された結果の解釈に役立つことを述べるとともに、さらなる応用可能性として三次元画像認識や異なる波長の画像への応用可能性を提案して締めくくっている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

本研究は農業機械の自動化をサポートするマシンビジョン技術において、深層畳み込みニューラルネットワーク (DCNN: Deep Convolutional Neural Network) の応用可能性とそれを使用した際に生じる判定理由の解釈を説明する手法について示したものである。実際のイチゴ栽培における画像を利用してDCNNの有用性を探索するとともに、判定結果の理由を理解するための手法開発を目指しており、評価できる点は以下の通りである。

1. グリーンハウス内で高設栽培されたイチゴを対象とし、種々の自然光環境下で取得した画像を用い、DCNNによる機械学習で成熟果と未熟果の判別を行ったところ、高い精度の検出結果ならびに良好な果実領域の占有結果が得られた。
2. 画像中の特定の画素に摂動を与えることで、DCNNによる判定理由を説明する方法を提案し、アーキテクチャの異なる2つのネットワークで評価実験を行うことにより、その有効性を明らかにした。
3. 対象物の特徴的な形状に着目した「視覚化」を行うことで、DCNNの判定結果に対する説明能力を向上させる技術を提案し、対象物の形状が個々の画素よりも優れた説明力があることを示した。

以上のように、本論文は高設栽培されたイチゴの画像を用いてDCNNの有用性を示すとともに、画像判定結果の理由をユーザーが得られる手法を提案していることから、応用範囲の拡張性に優れた機械学習付きのマシンビジョンシステムおよび自動化システムの効率的開発に貢献可能と期待される。このことから生物センシング工学、フィールドロボティクス、農業システム工学の発展に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成30年10月12日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）